

## 11. Erkennung und Analyse von Texturen

# Was ist Textur?

- *Textur charakterisiert die Oberflächenbeschaffenheit von Phänomenen und Objekten. Oberflächenbeschaffenheit kann sowohl visuell als auch taktil wahrgenommen werden*  
[Wechsler 1980]
- *Textur ist aus mehr oder minder geordneten Elementen (Muster) zusammengesetzte Struktur. Keinem der Elemente kommt – für sich allein genommen – eine wesentliche Bedeutung zu.*  
[Gool et al. 1985]
- *Textur ist eine flächenhafte Verteilung von Grauwerten mit zugehörigen Regelmäßigkeiten und gegenseitigen Abhängigkeiten innerhalb begrenzter Bildbereiche*  
[Bähr und Vögtle 1991]
- *„Strukturen, die sich aus sich wiederholenden kleineren Mustern aufbauen, die sich wiederum aus sich wiederholenden Grauwerten in einer lokalen Nachbarschaft zusammensetzen, wobei die Grauwerte in einer solchen lokalen Nachbarschaft auch variieren dürfen, können als Textur bezeichnet werden.“*  
[Hermes 1999]
- *"Die Strukturierung des Grauwerts wird allgemein als "Textur" bezeichnet. Texturen sind gerade dadurch gekennzeichnet, dass es nicht leicht ist, sie mit einem einfachen Merkmal zu charakterisieren, obwohl wir sie mit unserem visuellen System leicht erfassen und unterscheiden können."* (Jähne 1989, zit. nach Voss & Süße 1991)

## Texturbeschreibung / -merkmale:

### Grobe Unterscheidung in

#### ➤ statistisch/stochastisch

- rein stochastisch
- Punkt-basierte Statistiken n-ter Ordnung
- Globale Statistiken
- Filter-basierte (lokale)

#### ➤ strukturelle Verfahren

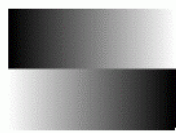
- Strukturierende Elemente (Texel)
- Aufbauregeln

## einfache statistische Merkmale (vgl. Übung 1):

Grau100



Grauverlauf



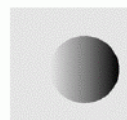
Objekte



3Kasten



Verlauf



Elch



Name	Min	Max	Mittelwert	Abweichung	Entropie	Schiefe
Grau100	100	100	100,00	0,00	0,00	0,00
Grauverlauf	0	255	126,02	5479,26	4,60	592,48
Objekte	0	255	40,80	8739,71	0,44	1515430,34
3Kasten	100	140	120,00	201,00	1,04	5,36
Verlauf	0	255	202,13	2903,40	1,72	-307702,41
Elch	0	255	155,55	2775,19	4,22	17397,20

(aus Hermes 2002)

oft auch Anwendung dieser Merkmale auf lokale Fenster  $F$  mit  $k$  Spalten und  $l$  Zeilen

### *Kontrast einer Textur:*

verschiedene Definitionen in der Literatur

oft als Verhältnis von Varianz zu Mittelwert bzgl. Fenster  $F$

$$K_F = \frac{\sigma_F^2(x, y)}{\bar{z}_F(x, y)}$$

$$\bar{z}_F(x, y) = \frac{1}{kl} \sum_{i=-\frac{k}{2}}^{\frac{k}{2}} \sum_{j=-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} E(x+i, y+j)$$

$$\sigma_F^2(x, y) = \frac{1}{kl-1} \sum_{i=-\frac{k}{2}}^{\frac{k}{2}} \sum_{j=-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} (E(x+i, y+j) - \bar{z}_F(x, y))^2$$

➤ Deutung:

➤ Keine Streuung, dann kein Kontrast

➤  $K_F < 1$  -> kontrastarm,  $K_F > 1$  -> kontrastreich

(lokales Texturmerkmal)

**Momente:**

werden innerhalb einer lokalen Umgebung  $R$  berechnet (oft rechteckiges Fenster)

anschließend kann noch eine Clustering folgen

Im diskreten Fall müssen Koordinaten normiert werden auf  $[-0,5; +0,5]$  mit  $W$  als Breite bzw. Höhe der Fensters (Region  $R$ )

sei  $(i, j)$  Zentrumspixel, für jeden Nachbarpunkt

$(k, l)$  ergeben sich die normalisierten Koordinaten

$(x_k, y_l)$  zu:

$$x_k = \frac{(k-i)}{2 \left\lfloor \frac{W}{2} \right\rfloor} \text{ bzw. } y_l = \frac{(l-j)}{2 \left\lfloor \frac{W}{2} \right\rfloor}$$

somit ergeben sich die Momente  $m_{pq}(i, j)$  zu

$$m_{pq}(i, j) = \sum_{k=-\left\lfloor \frac{W}{2} \right\rfloor}^{+\left\lfloor \frac{W}{2} \right\rfloor} \sum_{l=-\left\lfloor \frac{W}{2} \right\rfloor}^{+\left\lfloor \frac{W}{2} \right\rfloor} f(i+k, j+l) x_k^p y_l^q$$

$$m_{pq}(i, j) = \sum_{k=-\lfloor \frac{W}{2} \rfloor}^{+\lfloor \frac{W}{2} \rfloor} \sum_{l=-\lfloor \frac{W}{2} \rfloor}^{+\lfloor \frac{W}{2} \rfloor} f(i+k, j+l) x_k^p y_l^q$$

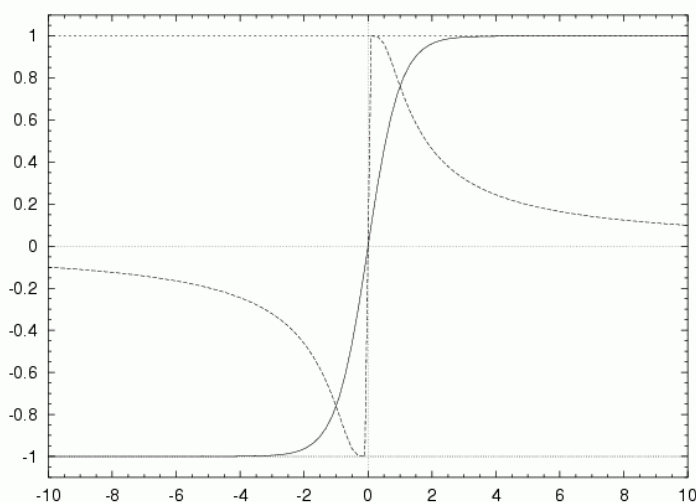
kann als Faltungsmaske interpretiert werden

- Die ersten sechs Momente werden berechnet  $m_{00}$ ,  $m_{10}$ ,  $m_{01}$ ,  $m_{11}$ ,  $m_{20}$  und  $m_{02}$
- Zwischenergebnis sechs Merkmalsbilder  $M_1$  bis  $M_6$

- Tangens hyperbolicus als logistische FKT angewendet auf die Zwischenergebnisbilder
- Ein Texturmerkmal  $F_k$  bzgl.  $M_k$  ergibt sich zu

$$F_k(i, j) = \frac{1}{L^2} \sum_{(a,b) \in W_{ij}} \left| \tanh\left(\sigma\left(M_k(a,b) - \overline{M}\right)\right) \right|$$

mit  $\overline{M}$  als Mittelwert,  $W_{ij}$  als Fenster (Region  $R$ ) der Größe  $L \times L$  und  $\sigma$  als Kontrollparameter, der die hyperbolische FKT bestimmt



Graph von tanh und coth

## Autoregressive Modelle für Texturen

(nach Voss & Süße 1991):

Autoregression:

- aus der Zeitreihenanalyse
- Zeitreihe = zeitl. Folge von Messergebnissen
- wird als Realisierung eines stochastischen Prozesses ( $X_1, X_2, \dots$ ) betrachtet, wobei alle  $X_i$  die gleiche Verteilungsfunktion haben sollen
- autoregressives Modell  $N$ -ter Ordnung:

es gibt Zahlen  $b_n$ , so dass

$$S_i = \sum_{n=0}^N b_n X_{i-n}$$

eine Folge stochastisch unabhängiger Zufallsgrößen mit Erwartungswert 0 und gleichen Varianzen  $\sigma^2$  sind.

D.h. es gibt eine Korrelation der Zufallsgrößen  $X_i$  in einem lokalen Fenster, die durch geeignete Wahl der Koeffizienten  $b_i$  modelliert werden kann.

Unter der Annahme  $b_0 \neq 0$  und mit  $a_n = -b_n/b_0$ ,  $R_i = S_i/b_0$  kann man auch schreiben:

$$X_i = \sum_{n=1}^N a_n X_{i-n} + R_i \quad (*)$$

Simulation einer konkreten Realisierung:

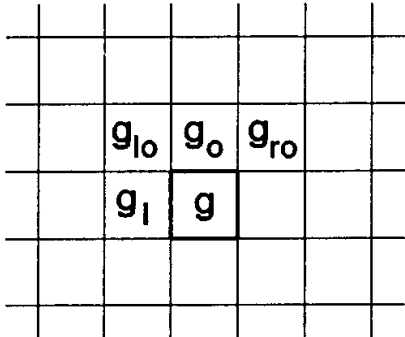
- Vorgeben eines Anfangsstücks der Zeitreihe
- weitere Realisierungen mittels der Rekursion (\*) berechnen
- (Pseudo-) Zufallszahlen für  $R_i$  nehmen

Verallgemeinerung auf 2D:

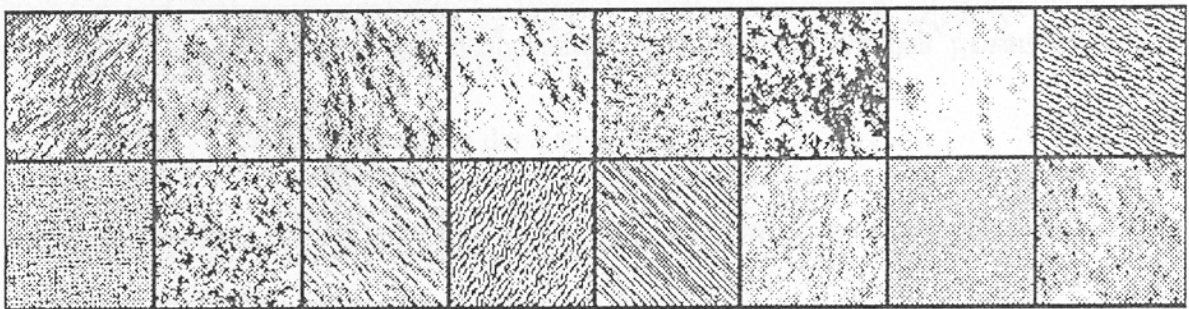
- Berechnung des aktuellen Grauwertes aus 4 Nachbar-Grauwerten
- zeilenweise Synthese des Bildes
- links und oberhalb des aktuellen Pixels befindliche Pixel werden als "vorangehend" angesehen
- Startwerte: Grauwerte der obersten Bildzeile und der linken und rechten Randspalte

Berechnung gemäß

$$g_{x,y} = a_{lo} g_{x-1,y-1} + a_o g_{x,y-1} + a_{ro} g_{x+1,y-1} + a_l g_{x-1,y} + r_{x,y}$$



Beispiele für derart erzeugte synthetische Texturen:



Umkehrung:

Berechnung der Parameter des (angenommenen) auto-regressiven Modells aus der gegebenen Bildinformation

Vorgehensweise:

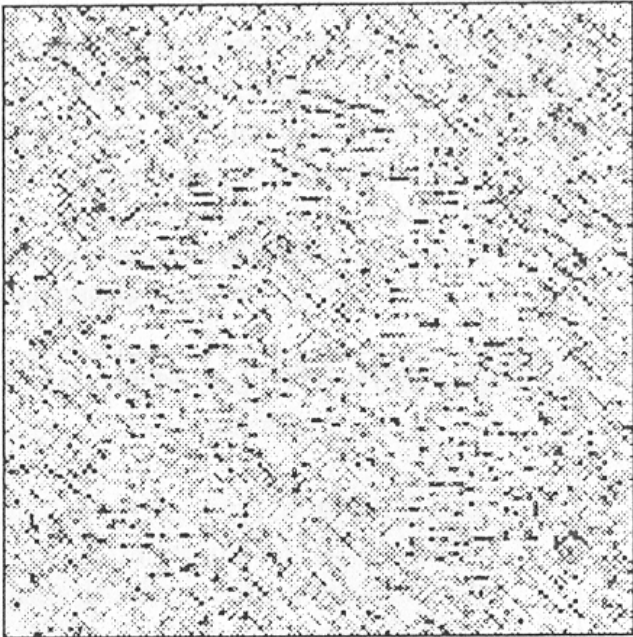
Bestimme die Parameter  $a_{lo}$ ,  $a_o$ ,  $a_{ro}$ ,  $a_l$  so, dass die quadratische Abweichung zwischen dem Grauwert eines Pixels und seinem theoretischen Grauwert nach der Berechnungsformel minimiert wird (Extremalproblem, über partielle Ableitung zu lösen, führt auf lin. Gleichungssystem).

Nachteil des Verfahrens:

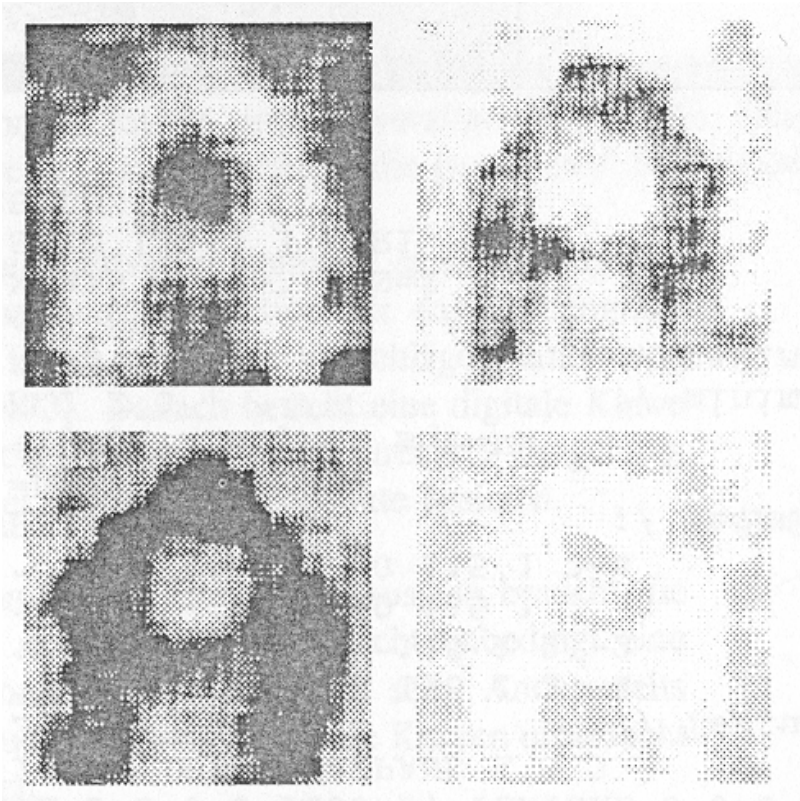
- Rechenaufwand
- Bildbereiche, aus denen Parameter bestimmt werden, müssen groß genug sein

Beispiel:

gegebenes Bild



Darstellung von Parametern aus dem autoregressiven Modell:





weitere statistische Verfahren:

*Co-occurrence-Matrix* (Paar-Grauwerte-Matrix)  
(vgl. Übung 1)

Punkt-basierte Statistik 2. Ordnung, liefert  
Richtungsinformationen verallgemeinerter Art

- Berechnung für vier Richtungen ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  und  $135^\circ$ )
- Bild  $E$  habe die Dimension  $N_x$  (horizontaler) und  $N_y$  (vertikal), sowie  $N_g$  Grauwerte
- Horizontale räumliche Ausdehnung  $L_x = \{1, 2, \dots, N_x\}$  bzw. vertikale  $L_y = \{1, 2, \dots, N_y\}$  und  $G = \{1, 2, \dots, N_g\}$  ist Menge der GW

Bild als Funktion  $E$ :

$$E : L_x \times L_y \rightarrow G$$

- Annahmen
  - Texturinformation ist über gesamtes Bild verteilt und
  - Information steckt in der Beziehung zwischen benachbarten Punkten, die durch GW repräsentiert werden
- Folgerung
  - Information kann adäquat durch eine (oder mehrere) Matrizen spezifiziert werden
  - In den Matrizen ist das relative Vorkommen  $P_{ij}$  eingetragen

- $P_{ij}$  bedeutet:
  - benachbarte Punkte mit Abstand  $d$  und
  - ein Punkt weist GW  $i$  und der andere Punkt weist GW  $j$  auf
- *Solche Matrizen sind FKTn, die unter Berücksichtigung eines Winkels ( $0^\circ, \dots, 135^\circ$ ) die räumlich Beziehung zwischen benachbarten Bildpunkten mit Abstand  $d$  repräsentieren*
- 2D-Histogramm



## Definitionen der Matrix-Einträge:

$$P(i, j, d, 0^\circ) = \# \left\{ \left\{ (k, l), (m, n) \in (L_x \times L_y) \times (L_x \times L_y) \right\} \right. \\ \left. k - m = 0, |l - n| = d, E(k, l) = i, E(m, n) = j \right\}$$

$$P(i, j, d, 45^\circ) = \# \left\{ \left\{ (k, l), (m, n) \in (L_x \times L_y) \times (L_x \times L_y) \right\} \right. \\ \left. (k - m = d, l - n = -d) \text{ oder} \right. \\ \left. (k - m = -d, l - n = d), \right. \\ \left. E(k, l) = i, E(m, n) = j \right\}$$

$$P(i, j, d, 90^\circ) = \# \left\{ \left\{ (k, l), (m, n) \in (L_x \times L_y) \times (L_x \times L_y) \right\} \right. \\ \left. |k - m| = d, l - n = 0, E(k, l) = i, E(m, n) = j \right\}$$

$$P(i, j, d, 135^\circ) = \# \left\{ \left\{ (k, l), (m, n) \in (L_x \times L_y) \times (L_x \times L_y) \right\} \right. \\ \left. (k - m = d, l - n = d) \text{ oder} \right. \\ \left. (k - m = -d, l - n = -d), \right. \\ \left. E(k, l) = i, E(m, n) = j \right\}$$

Normierung (für  $d = 1$ ) durch:

$2N_y(N_x - 1)$  (für  $0^\circ$  und  $90^\circ$ ) sowie  $2(N_y - 1)(N_x - 1)$  (für  $45^\circ$  und  $135^\circ$ )

### ➤ Merkmale (Auswahl): Entropie

ASM(Energie)  $f_3 = -\sum_i \sum_j p(i, j) \log(p(i, j))$

$$f_1 = \sum_i \sum_j \{p(i, j)\}^2$$

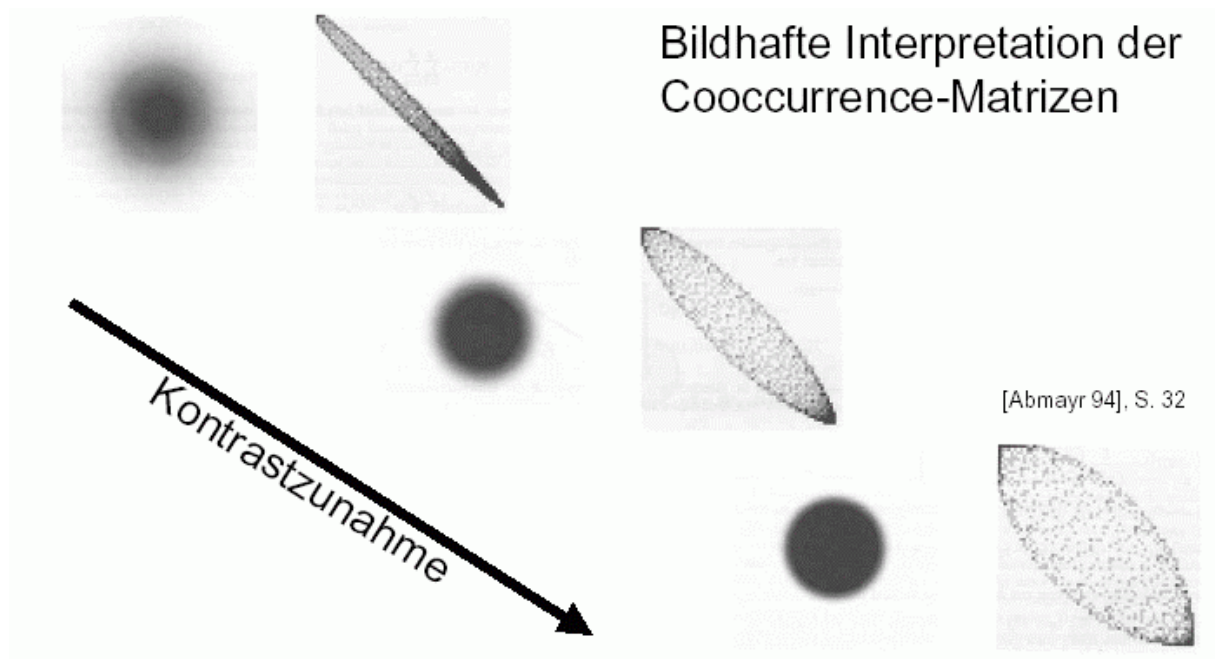
Korrelation

Kontrast  $f_4 = \frac{1}{\sigma_m \sigma_n} \left( \sum_i \sum_j ij p(i, j) - \mu_m \mu_n \right)$

$$f_2 = \sum_i \sum_j (i - j)^2 p(i, j)$$

$\mu_m, \mu_n, \sigma_m, \sigma_n$  Mittelwerte und Standardabweichung von  $p_m$  und  $p_n$

$$p_m(i) = \sum_j p(i, j) \text{ bzw. } p_n(j) = \sum_i p(i, j)$$



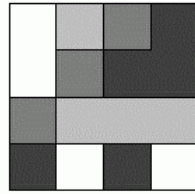
### *Grauwert-Lauflängen-Matrizen:*

Punkt-basierte Statistik n-ter Ordnung (i.d.R. Grauwertlauflängen)

- beschreibt die Anzahl der Bildpunkte, die bzgl. einer Richtung  $\theta$   $k$  Nachbarpunkte (mit GW  $G$ ) aufweisen
- $N_g$  Anzahl der GW,  $N_r$  Anzahl der unterschiedlichen Lauflängen
- $\alpha$  Richtung, in der der Lauf betrachtet wird
- Ein Run-Length-Matrix  $M_{glrl}(\alpha)$  hat die Dimension  $N_g \times N_r$
- $p(i,j)$  ist die Anzahl der GW-Läufe mit GW  $i$  und Länge  $j$

Spalte der Matrix: entspr. Länge des Laufes  
 Zeile: entspricht jeweils einem Grauwert

0	1	2	3
0	2	3	3
2	1	1	1
3	0	3	0



$$M_{grt}(0^\circ) = \begin{pmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$M_{grt}(45^\circ) = \begin{pmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 3 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$M_{grt}(90^\circ) = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$M_{grt}(135^\circ) = \begin{pmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

aus diesen Matrizen abgeleitete Merkmale:

short run emphasis

$$RF_1 = \frac{\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_r} \frac{p(i, j)}{j^2}}{\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_r} p(i, j)}$$

long run emphasis

$$RF_2 = \frac{\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_r} p(i, j) j^2}{\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_r} p(i, j)}$$

gray level nonuniformity

$$RF_3 = \frac{\sum_{i=1}^{N_g} \left( \sum_{j=1}^{N_r} p(i, j) \right)^2}{\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_r} p(i, j)}$$

run length nonuniformity

$$RF_4 = \frac{\sum_{j=1}^{N_g} \left( \sum_{i=1}^{N_r} p(i, j) \right)^2}{\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_r} p(i, j)}$$

run percentage

$$RF_5 = \frac{\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_r} p(i, j)}{P}$$

## Texturmerkmal Gerichtetheit

ausgehend von Gradientenbestimmung (siehe lokale Bildoperationen):

### Richtungshistogramm

Kantenrichtung:

$$\theta = \tan^{-1}(\Delta v / \Delta h) + \frac{\pi}{2}$$

➤ k= Anzahl der zu unterscheidenden Richtungen/Winkel

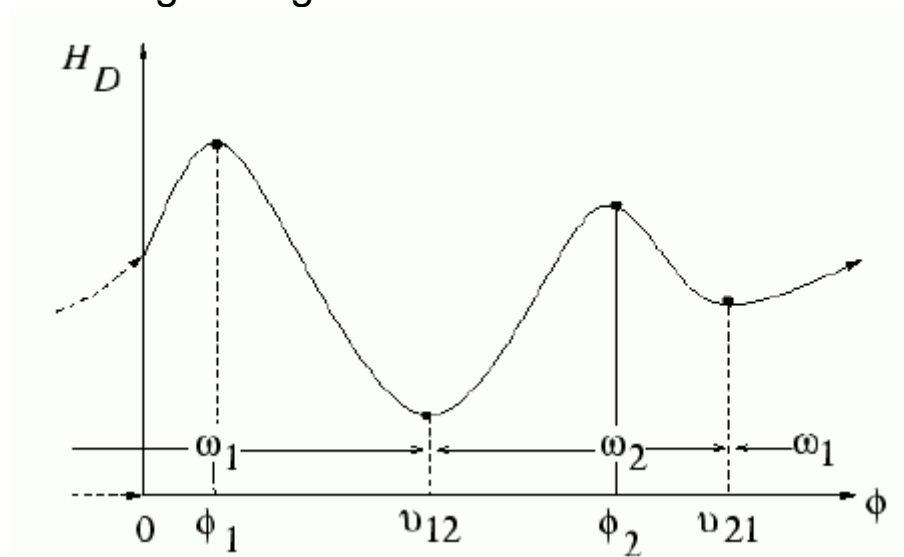
Absolutes Histogramm  $N_{\theta}(k)$  entspr. Anzahl der Punkte, f, r die gilt :

$$(2k-1)\frac{\pi}{2n} \leq \theta \leq (2k+1)\frac{\pi}{2n} \quad \text{und} \quad |\Delta G > th|$$

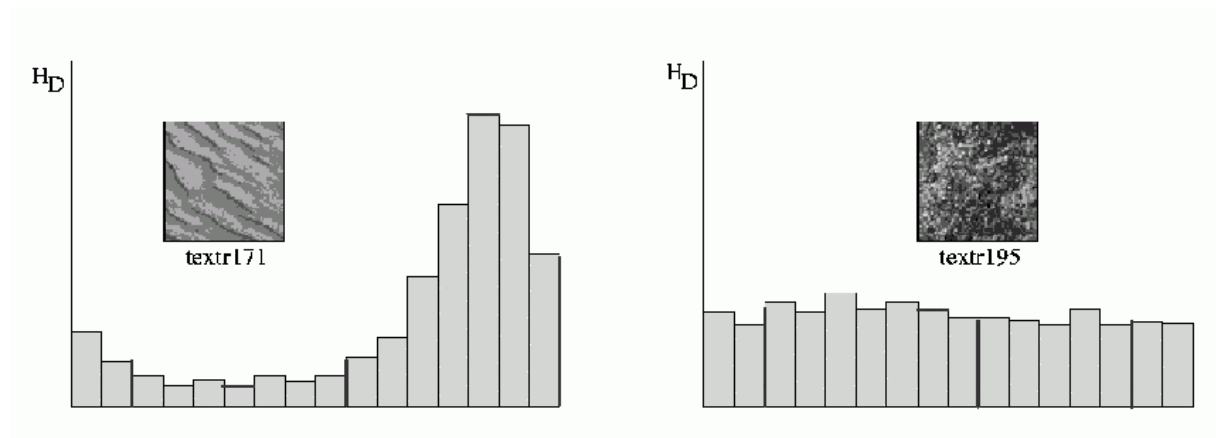
Normiertes Histogramm

$$H_D(k) = \frac{N_{\theta}(k)}{\sum_{i=0}^{n-1} N_{\theta}(i)}, \quad \text{mit} \quad k = 0, 1, \dots, n-1$$

### Richtungshistogramm



Beispiel:



Deutung des Richtungshistogramms:

- flaches Histogramm entspricht ungerichteten Texturen
- ein lokales Maximum: gerichtete Textur, Grad der Gerichtetheit ergibt sich aus der Schärfe der Spitze im Histogramm
- multimodales Histogramm (mehrere Spitzen): keine einheitliche, vorherrschende Richtung

Quantifizierung der Gerichtetheit mit Kenngrößen des Richtungshistogramms möglich (s. Hermes 2002).

## Strukturelle Verfahren:

- Beschreibung von Texturen durch
  - sog. Texel (texture elements) und
  - Aufbauregeln
- Besonders geeignet, um deterministische Texturen zu beschreiben
- Unterteilung in
  - Verfahren zur Texel-Extraktion
  - Verfahren, die Texturen aus Texel bestimmen
  - Verfahren, die sowohl Texel-Extraktion als auch Bestimmung von Aufbauregeln behandeln

## Texel-Extraktion:

- kantenbasiert  
Texel lassen sich durch signifikante (Teil-) Konturen bestimmen (vgl. Kontursegmentierung)
- bereichsbasiert  
Texel als Areal homogener Grauwerte

Beisp.: oben besser kantenbasiert, unten besser bereichsbasiert

